IT & C

ISSN 2821 - 8469, ISSN – L 2821 - 8469, Volumul 1, Numărul 2, Decembrie 2022

Proiectarea și arhitectura rețelelor de comunicații 5G

Nicolae Sfetcu

Pentru a cita acest articol: Sfetcu, Nicolae (2022), Proiectarea și arhitectura rețelelor de comunicații 5G, *IT & C*, **1**:2, 27-34, DOI: 10.58679/IT74636, https://www.internetmobile.ro/proiectarea-si-arhitectura-retelelor-de-comunicatii-5g/

Publicat online: 12.09.2022

Proiectarea și arhitectura rețelelor de comunicații 5G

Nicolae Sfetcu

Rezumat

Arhitectura 5G prezentată aici a rezultat din analiza diferitelor rapoarte accesibile publicului publicate de organisme de standardizare, cercetare și științifice. Această sarcină a vizat stabilirea unei înțelegeri comune și coerente asupra componentelor arhitecturii 5G. În ciuda unui număr mare de documente referitoare la diferite aspecte ale arhitecturii 5G (de exemplu, funcții de rețea individuale, interfețe, funcții de securitate, diferite domenii 5G etc.), doar câteva oferă o imagine de ansamblu compresivă. Pentru aceasta, a fost necesară vizualizarea diferitelor componente într-un mod modular și general. Odată ce arhitectura tehnică cuprinzătoare 5G a fost definită, și după examinarea punctelor slabe cunoscute ale componentelor, a fost posibil să se enumere activele sensibile și să se descrie cele mai relevante amenințări.

Cuvinte cheie: proiectare, arhitectura, rețele de comunicații, 5G

Abstract

The 5G architecture presented here resulted from the analysis of various publicly available reports published by standards, research and scientific bodies. This task aimed to establish a common and coherent understanding of the components of the 5G architecture. Despite a large number of documents relating to different aspects of the 5G architecture (e.g. individual network functions, interfaces, security functions, different 5G domains, etc.), only a few provide a comprehensive overview. For this, it was necessary to visualize the various components in a modular and general way. Once the comprehensive technical architecture of 5G was defined, and after examining the known weaknesses of the components, it was possible to list the sensitive assets and describe the most relevant threats.

Keywords: design, architecture, communication networks, 5G

IT & C, Volumul 1, Numărul 2, Decembrie 2022, pp. 27-34
ISSN 2821 - 8469, ISSN – L 2821 - 8469
URL: https://www.internetmobile.ro/proiectarea-si-arhitectura-retelelor-de-comunicatii-5g/

Arhitectura 5G prezentată aici a rezultat din analiza diferitelor rapoarte accesibile publicului publicate de organisme de standardizare, cercetare și științifice. Această sarcină a vizat stabilirea unei înțelegeri comune și coerente asupra componentelor arhitecturii 5G. În ciuda unui număr mare de documente referitoare la diferite aspecte ale arhitecturii 5G (de exemplu, funcții de rețea individuale, interfețe, funcții de securitate, diferite domenii 5G etc.), doar câteva oferă o imagine de ansamblu compresivă. Pentru aceasta, a fost necesară vizualizarea diferitelor componente într-un mod modular și general. Odată ce arhitectura tehnică cuprinzătoare 5G a fost definită, și după examinarea punctelor slabe cunoscute ale componentelor, a fost posibil să se enumere activele sensibile și să se descrie cele mai relevante amenințări.

Din acest motiv, abordarea adoptată aici, preluată de la ENISA, a fost dezvoltarea unei arhitecturi 5G generice și furnizarea detaliilor componentelor cheie individuale prin intermediul „Zoom-in-urilor”, permițând detalii suplimentare despre funcționalitatea și scopul acestora. Procedând astfel, pe lângă arhitectura generică 5G descrisă, ENISA a oferit o serie de vizualizări detaliate ale anumitor componente, și anume: Core Network, Management and Network Orchestrator (MANO), Radio Access Network (RAN), Network Function Virtualization (NFV), Software Defined Network (SDN), Multi-access Edge Computing (MEC), User Equipment (UE), Security Architecture (SA) și componente de infrastructură fizică 5G (*Enisa Threat Landscape for 5G Network - Threat assessment for the fifth generation of mobile telecommunications networks (5G)*, November 2019. © European Union Agency for Cybersecurity (ENISA), 2019. Traducere și adaptare independente de Nicolae Sfetcu).

Cazuri de utilizare 5G

3GPP a definit aceste cazuri de utilizare ca parte a proiectului său New Services and Markets Technology Enabler (SMARTER). (1) Obiectivul din spatele SMARTER a fost să dezvolte cazuri de utilizare la nivel înalt și să identifice care sunt caracteristicile și funcționalitățile necesare pentru a le permite. Procesul a început în 2015 și a dus la peste 70 de cazuri de utilizare, grupate inițial în cinci categorii, care au fost reduse la trei. Cele trei seturi de cazuri de utilizare sunt după cum urmează.

- Banda largă mobilă îmbunătățită (Enhanced mobile broadband, eMBB). (2) Definită ca o extensie la serviciile existente în bandă largă 4G, eMBB va fi primul serviciu comercial 5G care permite descărcări mai rapide și mai fiabile. Pragurile definite în cerințele ITU pentru eMBB se stabilesc la minimum 20Gbps pentru legătura descendentă și 10Gbps pentru legătura ascendentă. În plus, cerința minimă pentru timpul de întrerupere a mobilității eMBB este de 0 ms.
- Comunicare ultra-fiabilă cu latență scăzută (Ultra-reliable low latency communication, URLLC). Promisiunea de a furniza comunicații ultra-fiabile și cu latență redusă pentru rețelele fără fir 5G este considerată de o importanță capitală. URLLC este conceput pentru a sprijini companiile în scenarii de comunicare critice, cum ar fi situații de urgență, operațiuni de sisteme autonome, printre altele. (3) Realizarea URLLC reprezintă una dintre provocările majore cu care se confruntă rețelele 5G.
- Comunicații tip mașină (Machine Type Communications, MTC). (4) Acest caz de utilizare se așteaptă să joace un rol esențial în viitorul sistemelor 5G. În proiectul METIS al șaptelea program-cadru UE (FP7), (5) MTC a fost clasificat în continuare ca o „comunicație masivă de tip mașină” (mMTC) și „comunicație de tip mașină ultra-fiabilă” (uMTC). În timp ce mMTC se referă la conectivitate fără fir la zeci de miliarde de terminale de tip mașină, uMTC se referă la disponibilitate, latență scăzută și fiabilitate ridicată. Principalele provocări ale mMTC sunt de a oferi conectivitate scalabilă și eficientă pentru un număr masiv de dispozitive care trimit pachete foarte scurte, ceea ce nu se realizează în mod adecvat în sistemele celulare concepute pentru comunicații de tip uman. În plus, soluțiile mMTC trebuie să permită o acoperire extinsă și o penetrare profundă în interior, având în același timp costuri reduse și eficiență energetică. Pentru MTC, ITU a definit o cerință minimă pentru densitatea conexiunii de 1.000.000 de dispozitive pe km2.

Mai multe scenarii de implementare pentru eMBB, mMTC și URLLC pot fi imaginate în implementările viitoare ale acestei tehnologii. Un studiu elaborat de ETSI a identificat unele dintre aceste scenarii viitoare prezentate în Scenarii de implementare 5G.

Scenarii de implementare 5G:

- **Sisteme inteligente de transport (ITS) și comunicații vehicul-orice (V2X)**: Un exemplu de caz de utilizare în misiuni critice este sistemul de transport. Utilizarea rețelei 5G pentru a spori siguranța auto este un alt domeniu principal al lansării 16. Acesta include mai multe îmbunătățiri în sprijinul comunicațiilor vehiculului celular la toate (C-V2X) și a sistemelor inteligente de transport (ITS). Îmbunătățirile din specificațiile C-V2X includ comunicații

vehicul-vehicul (V2V), vehicul-pieton (V2P) și comunicații vehicul-infrastructură (V2I). Toate acestea sunt necesare pentru creșterea siguranței transportului în mediul actual, dar și în implementarea viitoare a conducerii autonome. Sistemele inteligente de transport sunt o altă zonă majoră de focalizare verticală în versiunea 16. Această zonă verticală va oferi o gamă largă de cazuri de utilizare a transportului și gestionării traficului către rețea. (6)

- **Internetul industrial al obiectelor (IIoT) și comunicare ultra-fiabilă cu latență scăzută (URLLC)**: IIOT este, de asemenea, o zonă de focalizare verticală majoră a versiunii 16. Introducerea 5G NR în cazurile de utilizare IIoT va permite cercetarea și inovarea unei viitoare fabrici conectate fără fir și reconfigurabile. Acesta creează o oportunitate de a introduce IIoT pentru a sprijini automatizarea fabricii, distribuția energiei electrice și transportul. Introduce îmbunătățiri importante în latența și fiabilitatea rețelei. Suportul pentru rețea sensibilă la timp (TSN) este, de asemenea, inclus în această versiune, unde sincronizarea orei foarte precisă este esențială în utilizarea automatizărilor din fabrică IIoT.
- **Acces integrat și backhaul (IAB)**: Pentru a extinde acoperirea rețelei 5G NR mmWave, costul noilor instalații de backhaul cu fibră optică este de obicei ridicat și reprezintă o provocare majoră la implementarea stațiilor de bază suplimentare. Versiunea 16 elimină necesitatea acestui backhaul cu fir, deoarece introduce acces integrat care permite unei stații de bază să ofere atât acces wireless pentru dispozitive, cât și conectivitate wireless backhaul.
- **Acces bazat pe NR la spectrul fără licență (NR-U)**: Versiunea 16 permite rețelelor 5G să funcționeze în spectru fără licență, care este cel mai mare disponibil. Banda fără licență globală existentă de 5 GHz și 6 GHz este utilizată de Wi-Fi și LTE LAA și este un caz de utilizare atractiv pentru creșterea ratelor de date și a capacității rețelei. Specificațiile definesc două moduri de funcționare: NR-U cu o ancoră în asistență licențiată (spectru partajat) și NR-U independent cu numai spectru fără licență.

Pe lângă aceste aplicații verticale, noua specificație adaugă peste 20 de caracteristici tehnologice standard, inclusiv o serie de îmbunătățiri pentru bandă largă mobilă îmbunătățită (eMBB) și alte aplicații verticale. Aceste îmbunătățiri eMBB acoperă MIMO masiv, transferul fără întrerupere a celulei și suprimarea interferențelor de la distanță. Mai mult, îmbunătățirile suplimentare introduse pot fi considerate ca facilitatori care vor spori eficiența 5G pentru o serie de aplicații ulterioare. Tabelul de mai jos oferă un rezumat al acestor îmbunătățiri / caracteristici.

Funcții suplimentare de activare 5G pentru toate verticalele - Eficiența 5G:

- Îmbunătățiri importante în caracteristicile versiunii 16 pot fi găsite în domeniile îmbunătățirilor de intrare multiplă, ieșire multiplă (MIMO) și de formare a fasciculului, partajare dinamică a spectrului (DSS), conectivitate duală (DC) și agregare a purtătorului (CA), poziționare și echipamente de utilizator (UE) economie de energie. Cele mai relevante îmbunătățiri ale eficienței 5G sunt următoarele:
- **Atenuarea interferențelor**: Versiunea 16 introduce caracteristicile de reducere a interferențelor la distanță (RIM) și a interferențelor încrucișate (CLI). Stațiile de bază pot comunica și coordona (prin semnale de referință (RIM-RS) prin aer sau în combinație cu semnalizarea backhaul) atenuarea interferențelor fluxurilor TDD DL-la-UL ale stației de bază (pentru a indica prezența interferențelor și dacă este suficientă atenuare). Cu CLI, dispozitivele pot măsura și raporta interferențe inter- / intra-celulare (Inter-celulă: când

dispozitivele au programare TDD semi-statică, Intra-celulă: când dispozitivele acceptă TDD dinamic) cauzate de dispozitive învecinate cu configurații TDD diferite.

- **Performanță MIMO**:
  - Versiunea 16 introduce îmbunătățiri MIMO, inclusiv:
    - manipulare îmbunătățită a fasciculului;
    - feedback-ul informațiilor despre starea canalului (CSI);
    - suport pentru transmisie către un singur UE din mai multe puncte de transmisie (multi-TRP)
    - transmisie de putere completă de la mai multe antene UE din legătura în sus (UL).
  - Unele dintre aceste îmbunătățiri sunt menite să mărească debitul rețelei, să reducă cheltuielile generale și / sau să ofere o rezistență suplimentară.
- **Poziționare de înaltă precizie**: Cu o creștere a numărului de cazuri de utilizare și aplicații care necesită poziționare precisă în exterior și interior, versiunea 16 introduce diverse metode de poziționare bazate pe DL și UL, pentru a îndeplini cerințele de precizie pentru diferite cazuri de utilizare. În funcție de modul în care este operat, serverul de localizare a rețelei colectează și distribuie informații legate de poziționarea dispozitivului utilizator (capacități UE, date de asistență, măsurători, estimări de poziție etc.) către celelalte entități implicate în procedurile de poziționare. Poziționarea cu o singură și mai multe celule aduce, de asemenea, geolocalizare de precizie în sprijinul comunicațiilor ITS / V2X și aplicațiilor IIoT.
- **Consum de energie**: Un alt aspect important al versiunii 16 este acela de a reduce și mai mult consumul de energie al dispozitivelor pe dispozitivele utilizatorului. De exemplu, utilizarea unui semnal de trezire (WUS), un canal de control de putere redusă pentru a indica activitatea sau lipsa acesteia în perioada corespunzătoare de monitorizare DRX (recepție discontinuă). Alte exemple includ setări optimizate de consum redus de energie, controale eficiente ale puterii și reducerea cheltuielilor generale și mecanisme mai eficiente de control al puterii. Noile funcții inteligente de economisire a energiei contribuie la îmbunătățirea autonomiei bateriei dispozitivului chiar și în aplicațiile cu utilizare ridicată (7).
- **Conectivitate dublă și agregare a operatorilor (CA / DC)**: Versiunea 16 reduce, de asemenea, latența pentru configurarea și activarea CA / DC pentru a atinge rate de date mai mari. În acest caz, conectivitatea poate fi reluată după perioade de inactivitate. Mai mult, versiunea 16 introduce, de asemenea, o declanșare a transmisiilor de semnal de referință CSI în cazul agregării purtătorilor cu numerologie diferită.
- **Îmbunătățiri ale mobilității**: Reducerea timpului de întrerupere a transferului de 0 ms activat de stiva de protocol activă duală cu transmisii / recepție simultană de sursă / celulă țintă. Robustețe îmbunătățită a mobilității Transmisie condiționată bazată pe dispozitiv pentru conectivitate simplă și dublă și recuperare rapidă a eșecului transferului.
  - Sub-7 GHz și mmWave;
  - Ambele transferuri inter- și intra-frecvență;
  - Benefic pentru cazurile de utilizare cu mobilitate ridicată (de exemplu, tren, aerian).
- **Comunicare îmbunătățită ultra-fiabilă, cu latență scăzută (eURLLC)**: Un aspect important din versiunea 16 a vizat îmbunătățirea suportului pentru comunicații de înaltă fiabilitate și cu latență redusă. Principalele caracteristici introduse de acest caz includ îmbunătățiri în mecanismele rețelei 5G Core, îmbunătățiri ale straturilor fizice pentru 5G

New Radio și suport pentru mecanismele Internetului nou al obiectelor radio industriale pentru a crește fiabilitatea includ un mecanism de transmisie redundant, monitorizare QoS îmbunătățită și suport RAN pentru multi-conectivitate de nivel superior (8). Mecanismele de reducere a latenței și de garantare a continuității sesiunii au fost, de asemenea, introduse în funcțiile Core 5G și susținute de îmbunătățiri ale specificațiilor stratului fizic ale 5G New Radio. În cele din urmă, îmbunătățirile care vizează în mod special scenariile IoT industriale includ livrarea exactă a calendarului de referință, îmbunătățiri ale planificării și gestionarea îmbunătățită a datelor de comunicare sensibile la timp.

- **Rețea auto-organizată (SON)**: Versiunea 16 îmbunătățește SON cu conceptul de optimizare robustă a mobilității (MRO), echilibrare a sarcinii de mobilitate (MLB) și optimizare RACH. Specificarea raportării dispozitivelor necesare pentru a îmbunătăți configurațiile de rețea și schimbul de informații între noduri (de exemplu, îmbunătățiri la interfețe precum N2 și Xn).

Referitor la evoluția planificată a specificațiilor 5G 3GPP: Specificațiile 5G sunt în continuă dezvoltare de către Proiectul de parteneriat de generația a treia (3GPP). Începând cu raportul de anul trecut, specificația actuală 5G este versiunea 16, care a atins înghețarea specificațiilor în iulie 2020, cu articole legate de rețeaua de acces radio. (9)

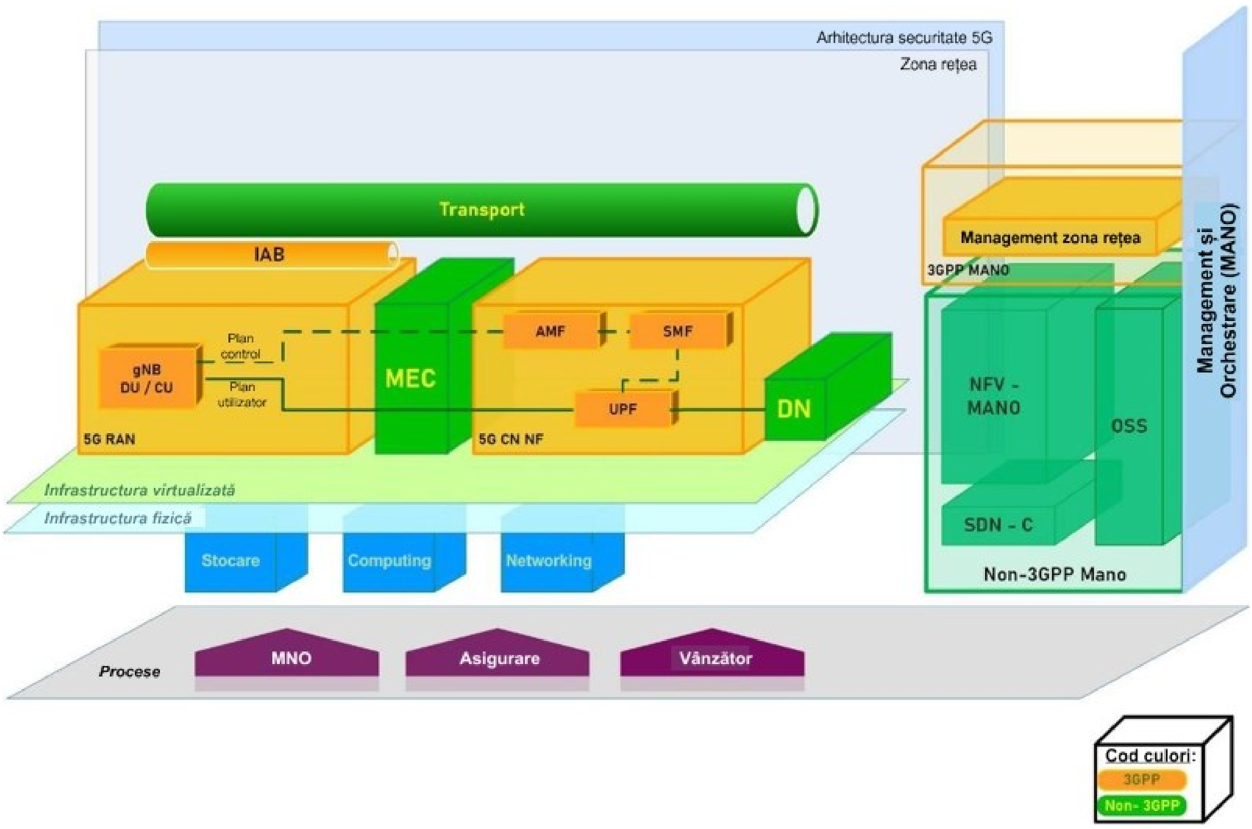
Se consideră că este util să planificăm versiuni potențiale ale peisajului amenințărilor 5G pentru a se potrivi actualizărilor introduse de versiunile mai noi ale specificației (de exemplu, sfârșitul anului 2021, care acoperă versiunea 17 prima etapă și sfârșitul anului 2022 care acoperă versiunea 17 etapa a doua).

Arhitectura 5G generică

Arhitectura 5G a evoluat ca rezultat al actualizărilor de specificații ale versiunii 3GPP 16. Actualizările au fost implementate fie la nivelul descrierilor, fie ca noi componente introduse de specificația 3GPP Versiunea 16.

La fel ca în versiunea anterioară a 5G TL, arhitectura generică 5G este prezentată prin componentele sale principale descrise ca niște cutii etichetate. Aceste cutii au fost aranjate pe baza straturilor, prezentând rolul lor funcțional în arhitectura 5G (adică stratul de virtualizare și stratul de infrastructură fizică). Această arhitectură își propune să ofere o imagine de ansamblu asupra principalelor grupe de funcționalități 5G prevăzute și este o consolidare a componentelor / funcțiilor găsite în materialul analizat.

Mai exact în 5G, arhitectura a fost concepută astfel încât conectivitatea și serviciile să poată fi acceptate, permițând tehnici precum Virtualization Function Network (NFV), Network Slicing (NS) și Software Defined Networking (SDN), Slicing, etc. Această arhitectură bazată pe servicii îndeplinește mai multe cerințe funcționale și de performanță bazate pe noi cazuri de utilizare.



Arhitectura 5G generică

Arhitectura 5G generică este o prezentare generală a diferitelor componente care sunt detaliate și prezentate ulterior prin „Zoom-in” specifice. Componentele Transport și OSS au fost incluse în arhitectura generică 5G din motive de consistență, iar relațiile cu OSS sunt detaliate în zoom-in corespunzătoare pentru NVF și Network Slicing Management.

De asemenea, ca evoluție față de prima versiune a arhitecturii, în această versiune sunt luate în considerare procesele relevante, deoarece procesele MNO, Vânzător și Asigurare sunt consecințe pentru securitatea generală a rețelei 5G. Arhitectura 5G tehnică generică sau de nivel înalt este descrisă în figura de mai sus.

Referințe

(1) https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/11/01_10-Nov_Session-3_Dino-Flore.pdf, accessed September 2019.

(2) https://5g.co.uk/guides/what-is-enhanced-mobile-broadband-embb/, accessed September 2019.

(3) https://arxiv.org/pdf/1801.01270.pdf, accessed September 2019.

(4) https://www.researchgate.net/profile/Carsten_Bockelmann/publication/305881263_Massive_Ma

chine-type_Communications_in_5G_Physical_and_MAC-layer_solutions/links/5ad996fba6fdcc293586dbcd/Massive-Machine-type-Communications-in-5G-Physical-and-MAC-layer-solutions.pdf, accessed September 2019.

(5) https://metis2020.com/, accessed September 2019.

(6) https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/5g-nr-evolution, accessed October 2020.

(7) https://www.qualcomm.com/news/onq/2020/07/07/propelling-5g-forward-closer-look-3gpp-release-16?, accessed October 2020.

(8) 3GPP TR 21.916 V0.5.0 (2020-07) Technical Report 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 16 Description; Summary of Rel-16 Work Items (Release 16) - https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/21_series/21.916, accessed October 2020.

(9) https://www.3gpp.org/release-16, accessed October 2020.

Sursa: Sfetcu, Nicolae (2022). *Rețele de comunicații 5G*, MultiMedia Publishing, ISBN 978-606-033-633-4, https://www.telework.ro/ro/e-books/retele-de-comunicatii-5g/